Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Breuninger
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

LATERALITÄT UND BÉKÉSY-AUDIOMETRIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Isolde Frankenreiter geb. Enzel
aus Lauffen am Neckar

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549627_0047

Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. H. Breuninger
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

LATERALITÄT UND BÉKÉSY-AUDIOMETRIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
der Medizinischen Fakultät
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Isolde Frankenreiter geb. Enzel
aus Lauffen am Neckar

1980

Dekan: Professor Dr. G. Rassner
Berichterstatter: Professor Dr. H. Breuninger

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

REFO-DRUCK HANS VOGLER TÜBINGEN

Meinen Eltern
und Jörg

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, die zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen haben:

Herrn Prof. Dr. Breuninger für die Bereitstellung des Themas und für sein Referat;

Herrn Ing. G. Sesterhenn für die stets freundliche und hilfsbereite Beratung bei der Durchführung der Versuche;

sowie allen, die sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einführung	
a) Lateralität - Sprache u. Händigkeit	1
b) Lateralität - Ohrdominanz	6
c) Békésy-Audiometrie	16
d) Zielsetzung	19
II. Material und Untersuchungsmethoden	
a) Probanden	20
b) Versuchsaufbau	21
c) Versuchsablauf	27
III. Auswertung und Ergebnisse	
a) Hand-Dominanz-Test	29
b) Audiogramme	31
IV. Diskussion	
a) Amplituden bzw. Zackenanzahl	39
b) Hörschwellen	47
V. Zusammenfassung	50
VI. Literaturverzeichnis	51

I. E I N F Ü H R U N G

a) Lateralität - Sprache und Händigkeit

Das menschliche Großhirn besteht aus zwei weitgehend symmetrischen Hemisphären. Die zentrale Repräsentation der motorischen, sensorischen und sensiblen Körperfunktionen erfolgt teils in der gleichseitigen, zumeist aber nach Kreuzung der Nervenbahnen in der kontralateralen Hemisphäre, symmetrisch für einander entsprechende Körperstellen.

Eine Ausnahme von dieser symmetrischen, bilateralen zentralen Repräsentation stellen die Sprache und die mit ihr verbundenen, übergeordneten Fähigkeiten wie Lesen, Schreiben, Singen dar. Im letzten Jahrhundert lokalisierten Autoren wie Dax, Broca und Wernicke (Ullmann, 1974) nach Beobachtung und Untersuchung von Patienten mit Sprachstörungen die Sprachzentren in die l i n k e Hemisphäre.

Die Zentren für die expressiven Funktionen Sprechen und Schreiben sind für die Koordination der dabei benötigten Muskeln zuständig. Bei Schädigung dieser Regionen ist der Patient unfähig, ein Wort auszusprechen oder zu schreiben, obwohl dieselben Muskeln andere Tätigkeiten weitgehend ungestört durchführen können.

Die rezeptiven Sprachzentren (Wernicke'sches Sprachzentrum und "Lesezentrum") vermitteln das Verständnis des gehörten bzw. gelesenen Wortes. Bei ausgeprägten Läsionen dieser Bereiche hört und liest der Patient zwar "Etwas", er empfindet es jedoch wie eine ihm unbekannte Fremdsprache.

Ebenfalls bereits im 19. Jahrhundert wurde die Hypothese eines Zusammenhanges zwischen Händigkeit und Lokalisation

der Sprache erstellt: Jackson (Ullmann, 1974) gab an, daß die für Sprache zuständige Hemisphäre kontralateral zur bevorzugten Hand liege. Die physiologisch-anatomische Grundlage hierfür findet sich in der Kreuzung der motorischen Nervenbahnen, infolge derer die "sprachdominante" linke Hemisphäre für die motorische Innervation der rechten Körperseite zuständig ist.

"Händigkeit" - größere Geschicklichkeit und Kraft und bevorzugter Gebrauch e i n e r Hand - stellt das am besten bekannte Beispiel von Lateralität oder lateraler Dominanz dar. In entsprechender Weise wird ein Bein - z. B. beim Absprung - , ein Auge - zum Fotografieren, Mikroskopieren - bevorzugt gebraucht, ist eine Zungenseite motorisch geschickter (Zungenschnalzen); sogar bei den Stimmbändern sind Unterschiede feststellbar (Ullmann, 1974).

Diese Überlegenheit eines zweier paariger Organe findet sich nur beim Menschen und - in schwächerer Ausprägung - bei höheren Tieren. Den Gipfel der lateralen Dominanz verkörpert beim Menschen die nur einseitige Anlage der Sprachzentren, die sich in ihrem anatomischen Substrat - der einseitigen Vergrößerung des Lobus temporalis superior - bereits beim Säugling nachweisen läßt (Eccles, 1975).

Bereits die Untersuchungen an aphasischen Patienten (Broca, Wernicke und andere in: Ullmann, 1974) hatten aber gezeigt, daß die linkshemisphärische Lokalisation der Sprachzentren nicht für alle Patienten zutraf: Manche zeigten Sprachstörungen nach Läsionen der rechten Hemisphäre. Ebenso gab es Ausnahmen von der "kontralateralen Verbindung" zwischen Sprache und Händigkeit, indem beispielsweise bei Linkshändern Aphasien nach Schädigung der linken Hemisphäre auftraten.

Tabelle 1.1 zeigt eine Zusammenfassung verschiedener Untersuchungen aphasischer Patienten (aus: Davis and Wada 1978).

Während bei Rechtshändern die Zuordnung der Sprachdominanz zur linken Hemisphäre recht eindeutig ist, stellen die Linkshänder eine inhomogene Gruppe dar mit teils ipsi-, teils kontralateraler Lokalisation von Sprache und dominanter Hand.

Diese Untersuchungen waren alle an hirngeschädigten Patienten erfolgt. Die Ergebnisse konnten nicht ohne Vorbehalt auf die Verhältnisse an Hirngesunden übertragen werden.

1949 entwickelte Wada eine Methode zur direkten Bestimmung der sprachdominanten Hemisphäre (Wada 1949; Wada and Rasmussen 1960; Branch, Milner and Rasmussen 1964). Injektion eines Barbiturats in eine Arteria Carotis interna "blockiert" die ipsilaterale Hemisphäre für kurze Zeit. Sprachstörungen in der Art einer Aphasie treten bei Rechtshändern praktisch nur nach Injektion in die linke Carotis auf, bei Linkshändern dagegen teils nach Injektion in die rechte, teils in die linke Arteria Carotis interna.
Die Ergebnisse von Branch, Milner and Rasmussen (1964) zeigt Tabelle 1.2.

Wegen ihres hohen Risikos wurde dieser Untersuchung nur an wenigen Patienten durchgeführt und stellt keineswegs eine Methode zur Testung größerer Probandengruppen dar.

Nach der Hypothese von Jackson (s. o.) könnte die Händigkeit eines Probanden als indirekter Indikator der sprachdominanten Hemisphäre herangezogen werden. Zum Einen war jedoch bekannt, daß bei Linkshändern die Zuordnung nicht eindeutig erfolgen konnte, zum Anderen zeigte sich, daß

die von den Probanden angegebene Händigkeit - meist nur an der Schreibhand orientiert - keineswegs immer objektiv bestätigt werden kann.

Von verschiedenen Autoren wurden detailliertere Händigkeitstests entwickelt. Diese bestehen beispielsweise aus einer Reihe von Fragen über die zu bestimmten Tätigkeiten benützte Hand, wie die sechs "Basisfragen" von Annett (in Natale 1977): Mit welcher Hand schreiben Sie, werfen Sie einen Ball, halten Sie einen (Tennis-)Schläger, putzen Sie sich Ihre Zähne, zünden Sie ein Streichholz an, halten Sie den Hammer beim Nägeleinschlagen?

Ähnlich setzen sich die von Schwarz (1971) verwendeten Fragen zusammen; sie ließ aber zusätzlich die Probanden die Tätigkeiten wenigstens andeutungsweise durchführen.

Eine weitere Möglichkeit stellen Geschicklichkeitstests dar (Schwarz 1971; Satz, Achenbach and Fennell 1967), denn für neue, ungewohnte Tätigkeiten oder wenn genaue, feine Bewegungen verlangt sind, wird die "dominante" Hand benützt (Steffen 1975).

Schwarz (1971) stellte fest, daß sich feinmotorische Tests - z. B. ohne Hilfeleistung der zweiten Hand Schrauben mit dem Schraubenzieher einschrauben - und die Feststellung der bevorzugten "Zeichenhand" gut eignen, die tatsächliche Händigkeit eines Probanden festzulegen. (Unsichere Aussagen ergeben dagegen die "Schreibhand" und die Kraftprobe am Dynamometer.)

Mit Hilfe dieser verläßlicheren Händigkeitstests konnte bestätigt werden, daß zwar Personen, die sich selbst als Rechtshänder einschätzen, dies auch meist sind, daß aber die Probanden, die sich selbst als "Linkshänder" einstufen, eine heterogene Gruppe darstellen, die teils Superiorität der linken, teils der rechten, teils keine Bevorzugung einer Hand (Beidhändigkeit, Ambidextrie) zeigen.

Tabelle 1: Sprachdominante Hemisphäre in Abhängigkeit von der Händigkeit

a) Linkshänder

Sprachdominanz: Zahl d. Prob.	Links	bilateral	rechts
1.) 132	65 %	---	35 %
2.) 51	43 %	8 %	49 %
3.) 35	57 %	---	43 %

b) Rechtshänder

Sprachdominanz: Zahl d. Prob.	Links	bilateral	rechts
1.) 737	95 %	---	5 %
2.) 48	90 %	0 %	10 %
3.) 73	89 %	---	11 %

c) Ambidexter

Sprachdominanz: Zahl d. Prob.	Links	bilateral	rechts
1.) ---	---	---	---
2.) 20	60 %	30 %	10 %
3.) 15	87 %	---	13 %

1.: Zusammenstellung verschiedener Untersuchungen an Patienten mit Hirnläsionen (aus: Davis and Wada 1978)

2.: Ergebnisse des Wada-Tests. (Branch, Milner and Rasmussen 1964)

3.: Ergebnisse der Untersuchung von Satz, Achenbach and Fennell (1967) mittels dichotischer Hörprüfung

b) Lateralität - Ohrdominanz

Als weiteres paariges Organ mit der Möglichkeit der Ausbildung lateraler Dominanz wurde das Ohr untersucht.

Die einfachste Prüfung, ob ein Ohr bevorzugt gebraucht wird, ist die Feststellung der Hinwendung e i n e s Ohrs auf ein leises Geräusch. Hierbei gehen allerdings Hörfehler mit ein (Ullmann 1974).

Broadbent führte 1954 mit dem dichotischen Hörverfahren eine verläßliche Methode zur Testung der Ohrleistungen ein (Broadbent 1954; Broadbent and Gregory 1964). Dabei hört der Proband über Stereokopfhörer auf beiden Ohren simultan unterschiedliche Stimuli. Fehler infolge einseitiger Schwerhörigkeit werden durch vorherige Messung der Hörschwellen ausgeschlossen.

Mittels dichotischer Stimulierung fanden Kimura (1961, 1964, 1967) und andere Autoren, daß sprachliche Reize im Allgemeinen genauer identifiziert werden, wenn sie dem rechten Ohr angeboten werden (Bryden 1963; Broadbent 1954; Broadbent and Gregory 1964; Curry 1967; Knox and Boone 1970).

Unter Verarbeitung der Erkenntnis, daß die auditiven Sprachstimuli im sensorischen Sprachzentrum (Wernicke) in der linken Großhirnhemisphäre verarbeitet werden, folgerte Kimura (1961, 1967), daß der gekreuzt verlaufende Anteil der zentralen Hörbahnen den Hauptweg darstellt. Demzufolge zeigt Superiorität des rechten Ohres bei der Wahrnehmung verbaler Stimuli Sprachdominanz der linken Hemisphäre an.

Die Berücksichtigung der Händigkeit der Probanden ergab, in Analogie zu den vorgenannten Untersuchungen, daß Rechtshänder im Allgemeinen Rechts-Ohr-Dominanz für

sprachliche Reize zeigen, Linkshänder dagegen Überlegenheit teils des rechten, teils des linken Ohres.

Satz, Achenbach and Fennell (1967) kombinierten in ihrer Untersuchung die genaue Feststellung der Händigkeit mit einem dichotischen Hörtest zur Bestimmung der sprachdominanten Hemisphäre.

Als Händigkeitstests verwendeten sie sowohl Fragen über die Handpräferenz bei bestimmten Tätigkeiten als auch Geschicklichkeitstests. Bei der Hörprüfung stimulierten sie mittels dichotisch präsentierter Zahlen.

Sie erhielten folgende Ergebnisse:(Tabelle 1.3): Über 90 % der Probanden, die sich selbst als Rechtshänder eingeschätzt hatten, stellten sich in den Tests auch als rechtshändig heraus; von diesen "echten" Rechtshändern zeigten wiederum 90 % Überlegenheit des rechten Ohres im Hörtest, damit Sprachdominanz der linken Hemisphäre. Von den selbsteingestuften Linkshändern erwiesen sich nur 60 % als tatsächlich linkshändig, je etwa 20 % zeigten Superiorität der rechten Hand bzw. keine oder nur geringe Unterschiede zwischen beiden Händen (Beidhänder). Für nahezu alle unter den "Ambidextern" und "Rechtshändern" und für ca. 60 % der "bestätigten" Linkshänder ergab der Hörtest Rechts-Ohr-Dominanz und damit Repräsentation der Sprache in der linken Hemisphäre. Nur die restlichen 40 % der "echten" Linkshänder, das entspricht 24 % der selbsteingeschätzten Linkshänder, zeigten Überlegenheit des linken Ohres, also Sprachdominanz der rechten Hemisphäre.

Die Ergebnisse von Satz et alia bestätigten also die Sprachdominanz der linken Hemisphäre für die meisten Menschen, Ambidexter zeigten zwar keine Superiorität einer Hand, aber doch in den meisten Fällen Überlegenheit des rechten Ohres im Hörtest.

Ebensowenig wie von unbedingter Kontralateralität zwischen Sprache und Händigkeit ausgegangen werden kann, darf also "Beidhändigkeit" mit "Nichtausprägung" eines Sprachzentrums bzw. mit bilateraler Sprachrepräsentation gleichgesetzt werden.

Weiterhin zeigte die Untersuchung einmal mehr, daß die Selbsteinschätzung kein verläßliches Kriterium zur Festlegung der Händigkeit darstellt, besonders bei Linkshändern.

Bereits Beobachtungen an Patienten mit Hirnläsionen hatten Hinweise dafür erbracht, daß sich die Zuständigkeit der "sprachdominanten" Hemisphäre nicht auf alle mit der Lautbildung befaßten Funktionen erstreckt: Störungen der Sprache und Störungen der musikalischen Fähigkeiten waren weitgehend unabhängig voneinander aufgetreten. Patienten mit schwerer Aphasie konnten bekannte Melodien summen; Andere, deren Musikalität vor ihrer Erkrankung bekannt war, verloren diese, ohne Sprachstörungen zu zeigen (Gordon 1970).

Nach temporaler Lobektomie waren das Erkennen und Summen von Melodien nur dann gestört, wenn die Operation den r e c h t e n Lobus temporalis betraf. Keine oder kaum eine Beeinträchtigung trat auf bei linksseitiger Lobektomie (Shankweiler 1966, Shankweiler in Gordon 1970, in Bakker 1970).

Infolge dieser Beobachtungen wurden die musikalischen Fähigkeiten der Temporalregion der rechten Hemisphäre zugeordnet.

In dichotischen Hörversuchen fanden Kimura (1964) und andere Autoren (z. B. Curry 1967; Kallman and Corballis

1975) bei Stimulierung mit nicht-sprachlichem Material - Melodien oder Tönen - Überlegenheit des linken Ohrs. So konnten sie ebenfalls die Zuständigkeit der rechten Hemisphäre für tonale Stimuli bestätigen.

Diese Befunde wiesen darauf hin, daß die "sprachdominante" linke Hemisphäre nicht für alle übergeordneten, koordinativen Fähigkeiten zuständig ist, sondern daß eher eine Spezialisierung der beiden Hemisphären für einzelne Funktionen vorliegt.

Detailliertere Ergebnisse auf diesem Gebiet erbrachten die Untersuchungen vor Sperry u. Mitarb. (in Eccles 1975; in Schmidt und Thews 1976) nach 1960 an Patienten, denen das Corpus Callosum als Querverbindung zwischen den Großhirnhemisphären durchtrennt worden war ("Split-brain"):

Wird das Bild eines Gegenstandes auf das rechte Gesichtsfeld des Split-brain-Patienten projiziert, damit also der linken Hemisphäre zugeleitet, so kann er den Gegenstand benennen, den Namen mit der rechten Hand aufschreiben sowie den zugehörigen Gegenstand mit der rechten Hand aus anderen heraussuchen. Ebenso erkennt der Patient Gegenstände, die ihm in die rechte Hand gelegt werden und kann diese auch benennen. Gegenstände, die dem linken Gesichtsfeld dargeboten oder dem Split-brain-Patienten in die linke Hand gelegt werden, kann er mit der linken Hand aus anderen Gegenständen heraussuchen, aber nicht benennen oder deren Namen aufschreiben. Worte, die in sein linkes Gesichtsfeld projiziert werden, kann er nicht laut sprechen, aber den zugehörigen Gegenstand finden.

Die rechte Hemisphäre allein ist also nicht in der Lage, sich durch Sprache oder Schrift mitzuteilen; sie besitzt aber stereognostische (Orientierung im Raum, taktiles Erkennen), optische (räumlich-visuell) und musikalische Fähigkeiten, sowie einfaches Sprachverständnis. Die von

ihr durchgeführten Vorgänge werden dem Split-brain-Patienten nicht bewußt; das Bewußtsein des gesunden Menschen registriert sie über das Corpus callosum und die linke Hemisphäre.

Die linke "sprachdominante" Hemisphäre ist zuständig für das spezifische menschliche Bewußtsein sowie für sämtliche sprachbezogene Fähigkeiten und für rechnerische Aufgaben. Bei räumlichen, bildhaften Aufgaben ist sie jedoch der rechten Hemisphäre unterlegen.

Aufgrund der überragenden Bedeutung von Sprache und Bewußtsein für den Menschen ist verständlich, daß die Fähigkeiten der rechten Hemisphäre zunächst weniger Bedeutung fanden und daß sie auch als "untergeordnete" Hemisphäre bezeichnet wurde.

Kimura (1967) hatte die Hypothese erstellt, daß die Konkurrenz der simultanen Reize auf beiden Ohren im dichotischen Hörtest notwendige Bedingung sei zum Nachweis der Überlegenheit eines Ohres über das andere. 1967 zeigten jedoch Simon sowie Bakker, daß dieser Nachweis auch mittels monauraler Stimulierung gelingen kann.

Bakker (1967, 1968, 1969, 1970 a) erweiterte Kimuras Hypothese dahingehend, daß die Provokation asymmetrischer Ohrleistungen durch verschiedene Faktoren erfolgen kann: Die Aufgabe muß einen bestimmten Schwierigkeitsgrad aufweisen, der durch schnelle Darbietungsfolge einzelner Stimuli, längere Serien, festgelegte Reihenfolge bei der geforderten Wiedergabe ebenso gefördert wird wie durch Verzerrung der Stimuli oder Überdeckung durch Geräusche (Knox and Boone 1970) oder eben durch dichotische Präsentation.

In mehreren Versuchsreihen fanden Bakker (1967, 1968, 1969, 1970) sowie Bakker and Boejienga Ergebnisse, die denen der dichotischen Hörversuche weitgehend entsprachen: bei Rechtshändern Überlegenheit des rechten Ohres bei der Perception verbalen Materials, sowie Links-Ohr-Dominanz für nichtverbale Stimuli. Linkshänder zeigten meist keine klaren Ohrasymmetrien; die Feststellung der Händigkeit war hier allerdings nur aufgrund der Angaben der Probanden erfolgt.

Im Detail ergaben die Untersuchungen von Bakker und anderen Autoren mittels monauraler und dichotischer Stimulierung, daß bei der Verarbeitung auditiver Stimuli die Spezialisierung der Großhirnhemisphären nicht so klar auf Sprache einerseits (linke Hemisphäre) und nichtverbales Material andererseits (rechte Hemisphäre) festgelegt werden kann.

Mittels Versuchsanordnungen, die Reaktionszeiten zur Messung der Ohr-Superiorität verwendeten, fanden verschiedene Autoren bei der "einfachen" Aufgabe 1 Reiz - 1 Antwort (z. B. auf ein Signal hin drückt der Proband eine Taste) signifikant kürzere Reaktionszeiten, wenn das Signal monaural dem rechten Ohr angeboten wurde (rechtshändige Probanden). Die Rechts-Ohr-Dominanz trat sowohl bei der Verwendung von Silben (Haydon and Spellacy 1973) als auch von Tönen als Signal auf (Simon 1967; Callan, Klisz and Parsons 1974; Haydon and Spellacy 1973). Sie zeigte sich jedoch nicht, wenn die Probanden wußten, auf welchem Ohr sie das Signal hören würden.

Callan et al. erklärten die Superiorität des rechten Ohres mit einem Aufmerksamkeitsvorteil der linken Hemisphäre, bzw. damit, daß sich der Proband bei Unsicherheit, welches Ohr stimuliert würde, gewohnheitsmäßig mehr auf das rechte Ohr konzentriere.

Bei Versuchen mit komplexerer Aufgabenstellung, z. B. Antwort nur auf einen bestimmten von mehreren angebotenen Tonstimuli, oder Antwort je nach Stimulus mit der rechten oder linken Hand, fanden Callan, Klisz and Parsons (1974) sowie Kallman (1977) mittels monauraler, und Kallman and Corballis (1975) mittels dichotischer Stimulierung signifikante Superiorität des linken Ohrs bei Verwendung tonaler Reize. Unsicherheit darüber, welches Ohr stimuliert würde, beeinflußte hier das Ergebnis nicht.

Bei derartigen komplexen Aufgaben überkompensiert also die Dominanz der rechten Hemisphäre (linkes Ohr) für Tonwahrnehmung den mutmaßlichen Aufmerksamkeitsvorteil der linken Hemisphäre bei reinen Reaktionsaufgaben.

Als weiteren möglichen Faktor für die Überlegenheit der rechten Hemisphäre führten Callan et al. (1974) an, daß die linke Hemisphäre bei den komplexen Aufgaben durch gleichzeitige sprachliche Aktivität "besetzt" sein könnte, etwa dadurch, daß der Proband in Gedanken die Regel "hoher Ton - rechte Hand" wiederholt. Bakker (1970) dagegen sieht überlagerte sprachliche Aktivität als Bahnung und erklärt damit Überlegenheit der linken Hemisphäre (rechtes Ohr).

In den oben genannten Versuchen ließen sowohl Callan et al. (1974) als auch Haydon and Spellacy (1973) ihre (rechtshändigen) Probanden die Antworttaste teils mit der rechten, teils mit der linken Hand bedienen. Bei der einfachen 1 Reiz - 1 Antwort-Aufgabe mit tonalen Stimuli ergab bei Callan et al. (1974) die Kombination rechte Hand - rechtes Ohr im Mittel die kürzesten Reaktionszeiten, bei Haydon and Spellacy dagegen die Kombination linke Hand - linkes Ohr. Bei den komplexeren Aufgaben von Callan et al. (1974) wies jeweils die Kombination linke Hand - linkes Ohr die kürzesten Reaktionszeiten auf. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Kombinatio-

nen waren jedoch nicht groß; signifikante Dominanz einer Hand ergab sich in keiner der Untersuchungen.

Verschiedene Autoren (Doehring 1972; Gordon 1970; King and Kimura 1972; Spellacy 1970; Spellacy and Blumstein 1970) versuchten, die Charakteristika verschiedener nichtverbaler Stimuli getrennt zu präsentieren, um so eventuelle unterschiedliche Effekte feststellen zu können.

Doehring (1972) fand signifikante Links-Ohr-Dominanz für das Erkennen von Intensitätsunterschieden, sowie leichte Links-Ohr-Überlegenheit für Frequenzunterscheidung.

Gordon (1970) verwendete die musikalischen Qualitäten Melodie mit Rhythmus einerseits und Klangwirkung andererseits getrennt als Stimuli. Dazu benutzte er obertonarme Melodien, die auf einem mechanischen Instrument produziert worden waren, und auf einer elektrischen Orgel gespielte, obertonreiche Akkorde. Für die Wahrnehmung der Akkorde ergab sich signifikante Links-Ohr-Dominanz, für die Melodien keine Ohrasymmetrie.

Als Erklärung bietet Gordon (1970) zwei Möglichkeiten: Entweder unterschieden die Probanden die Melodien nur über den Rhythmus (der danach in beiden Hemisphären repräsentiert sein müßte), also praktisch ohne Zuhilfenahme der Tonhöhen, oder die ermittelte Rechte-Hemisphären-Dominanz für Akkorde (Tonhöhen) wurde durch die Zuständigkeit der linken Hemisphäre für Rhythmen ergänzt.

Letzteres findet Unterstützung durch die Untersuchungen von Natale (1977), der Probanden (Rechtshänder) mit morse-ähnlichen Folgen eines Tons (kurz - lang) stimuliert hatte.

Halperin, Nachshon and Carmon (1973) vertreten die Auffassung, daß der rhythmische, sequentiale Charakter ein Hauptmerkmal der Sprache darstellt, und daß demzufolge rhythmische Stimuli, auch wenn sie nichtverbaler Art sind, in der linken Hemisphäre verarbeitet werden müßten.

Als dichotische Stimuli dienten Halperin u. Mitarb. Serien bestehend aus drei Tönen, die zunächst alle dieselbe Frequenz bzw. Dauer besaßen; im zweiten Durchgang änderten sich Tonhöhe bzw. Dauer einmal innerhalb der Serie, beim dritten Durchgang zweimal. Beim ersten Durchgang fanden die Autoren für beide Versuchsanordnungen (Frequenz und Tondauer) signifikante Überlegenheit des linken Ohrs, im dritten Durchgang Rechts-Ohr-Dominanz.

In Abhängigkeit vom zunehmend sequentialen Charakter der Serien trat also ein Übergang auf von Links-Ohr-Dominanz - entsprechend der Überlegenheit der rechten Hemisphäre bei der Wahrnehmung von Tönen - zu Rechts-Ohr-Dominanz. Halperin et al. bestätigten damit ebenfalls die Zuständigkeit der "Sprachhemisphäre" für Rhythmus.

Bakker (1970) fand einen ähnlichen Wechsel der Ohrdominanz bei Stimulierung mittels verschieden langer Serien kurzer Töne. Serien bestehend aus drei Tönen ergaben mäßige, aus vier Tönen starke Links-Ohr-Superiorität, Serien von fünf Tönen jedoch Überlegenheit des rechten Ohrs.

Spellacy and Blumstein (1970) fanden Überlegenheit des linken Ohrs, wenn die Probanden auf nichtsprachliche Eigenschaften verbaler Stimuli, wie Tonhöhe oder Lautstärke, achteten. King and Kimura (1972) zeigten, daß vom Sprachapparat produzierte, aber nicht-verbale Laute wie Lachen, Husten, Seufzen sowie gesummte Melodien, besser vom linken Ohr wahrgenommen, also in der "tondominanten" rechten Hemisphäre verarbeitet werden.

Man kann also folgern, daß die beiden Großhirnhemisphären bei der Verarbeitung auditiver Reize nicht auf "Sprache" und "Nicht-sprachliches Material" spezialisiert sind, sondern jeweils auf bestimmte charakteristische Bestandteile. Dies sind bei der linken Hemisphäre beispielsweise schnell wechselnde "rhythmische" Stimuli, entsprechend der rhythmischen Abfolge der Buchstaben bzw. Silben in der Sprache. Bei der rechten Hemisphäre stellen Tonhöhen- und Intensitätsänderungen als typische Merkmale nicht-verbalen auditiven Materials solche Charakteristika dar.

An der zentralen Verarbeitung der Sprache sind demnach beide Hemisphären beteiligt: Die linke, "sprachdominante", ist zuständig für das rezeptive Erkennen der Wörter und ihrer Bedeutung, sowie für die expressive Formung der Buchstaben in Mund und Kehlkopf. Sprachmelodie und Tonfall jedoch gehören zum Zuständigkeitsbereich der rechten "tondominanten" Hemisphäre.

c) Békésy-Audiometrie

Die Audiometrie mit dem Audiometer nach G. v. Békésy (1947), die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, fand nach ihrer Einführung 1947 schnell Anwendung in der klinischen Hörprüfung wie auch in der audiologischen Forschung. Das Audiometer ermöglicht eine kontinuierliche Messung der Hörschwelle über weite Frequenzbereiche. Der Proband steuert dabei die Intensität des Prüftons selbst. Mittels einer Taste kehrt er die Intensitätszunahme des Prüftons bei Erreichen seiner Hörschwelle um in Leiserwerden; bei Verschwinden des Tons führt er durch Loslassen der Taste erneutes Lauterwerden herbei. Ein angeschlossener Schreiber zeichnet dementsprechend eine Zickzack-Kurve auf (vgl. II.b, 2, Abb. 3).

Auf diese Weise werden laute Töne vermieden, die den Probanden vertäuben könnten. Der zügige Ablauf der Hörprüfung vermindert zudem durch Aufmerksamkeitsverlust entstehende Fehler. Die Ergebnisse sind gut reproduzierbar (Shepherd and Goldstein 1968; Hahlbrock 1965).

Mittels des Békésy-Audiometers können unterschiedliche Arten der Hörprüfung durchgeführt werden. Einmal kann der Prüfton als Dauerton (kontinuierlich) angeboten werden, oder als Impulston periodisch unterbrochen. Zum Anderen kann die Hörschwelle über einen größeren oder kleineren Frequenz - b e r e i c h bestimmt werden, entweder bei stetiger Zunahme der Frequenz von tiefen zu hohen Tönen ("forward sweep tracing") oder umgekehrt bei abnehmender Frequenz ("backward sweep tracing"). Eine weitere Möglichkeit stellt die Hörschwellenmessung bei einer f e s t e n Frequenz über einen bestimmten Zeitraum dar ("fixed frequency tracing") (Hahlbrock 1965; Harbert and Young 1968).

In der Klinik findet die Békésy-Audiometrie Verwendung bei der Differentialdiagnose der Schwerhörigkeit. Zur Bewertung wird dabei neben der Hörschwelle die Höhe (Amplitude) der Zacken im Audiogramm herangezogen. Bereits in seiner Einführungsarbeit wies v. Békésy darauf hin, daß bei schwerhörigen Patienten mit positivem Recruitment die Zackenamplitude wesentlich verkleinert ist (v. Békésy 1947).

Jerger (1960) erstellte von normal- und schwerhörigen Patienten einer HNO-Klinik Dauerton- und Impulston-Audiogramme sowohl mit zunehmender Frequenz als auch bei fixen Frequenzen. Er stellte fest, daß die erhaltenen Audiogramme fünf Typen zugeordnet werden konnten, und daß diese fünf Typen im Zusammenhang stehen mit bestimmten Schädigungen des Gehörs.

So zeigen die Audiogramme von Normalhörern und Patienten mit Mittelohrstörungen wie z. B. Otosklerose das Verhalten von Typ I: Die Kurven für Dauer- und für Impulstonreizung weisen gleich hohe Zackenamplituden auf und überschneiden sich weitgehend.

Für cochleäre Störungen (z. B. Morbus Menière) ist Typ II charakteristisch: Oberhalb von 1 kHz fällt die Dauertonkurve bis zu 20 dB unter die Impulstonkurve ab und zeigt kleinere Amplituden. Die Abnahme der Amplitude von ca. 10 dB auf 3 - 5 dB entspricht wohl positivem Recruitment.

Typ III des Békésy-Audiogramms nach Jerger zeigt bereits bei niedrigen Frequenzen einen steilen Abfall der Dauertonkurve; Typ IV ebenso, doch überschreitet hier der Abstand zwischen beiden Kurven nicht 20 dB. Typ III und IV treten bei Schäden des Nervus cochlearis auf, z. B. bei Akustikusneurinom.

Der Vergleich von Dauerton- und Impulstonkurve eines Probanden ermöglicht also Schlüsse auf den Sitz einer Gehörsläsion (Johnson 1977).

Typ V des vergleichenden Békésy-Audiogramms ist gekennzeichnet durch Absinken der Impulston- unter die Dauertonkurve um mindestens 10 dB (Jerger and Herer 1961; Rintelmann and Harford 1967). Er tritt bei simuliertem Hörverlust auf (Ventry 1971), sowie bei Normalhörern, wenn Hörkurven mit überschwelliger Intensität geschrieben werden (Rintelmann and Carhart 1964).

Mit Hilfe des Békésy-Audiometers kann weiterhin das Verhalten des Gehörs unter Maskiergeräuschen auf dem ipsi- oder kontralateralen Ohr untersucht werden (Harbert and Young 1968).

Eine andere Möglichkeit stellt die Untersuchung der Ermüdung und Erholung des Gehörs dar: Mittels eines lauten Tons oder Geräusches wird das Ohr ermüdet. Wiederholte Messungen zeigen die nach der Lärmexposition abgesunkene Hörschwelle und ihre langsame Rückkehr zu Normalwerten (Harbert and Young 1968). Eine pathologische Hörermüdung bei Läsionen des Gehörs wird in den vergleichenden Audiogrammen nach Jerger (1960) sichtbar (s.o.).

Shepherd and Goldstein (1968) fanden Zusammenhänge zwischen der Zackenamplitude im Békésy-Audiogramm und Persönlichkeitstests, die beispielsweise Angst erfaßten: Probanden mit hohen "Angstwerten" schrieben enge, niedrige Zacken.

d) Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Feststellung, ob und in welcher Weise laterale Dominanz das Békésy-Audiogramm beeinflußt.

Die Békésy-Audiometrie stellt eine komplexe Hörprüfung dar, bei der einerseits die Fähigkeit des Probanden, Tonhöhen und Intensitäten zu unterscheiden, andererseits seine Reaktionsschnelligkeit eingehen.

Durch die Versuchsanordnung bedingt, sind ein Ohr und eine Hand des Probanden an der Messung beteiligt. Von möglichem Einfluß sind demnach seine Händigkeit sowie die Ohrdominanz.

Entsprechend den obigen Ausführungen über Ohrdominanz erwarteten wir Superiorität des linken Ohres.

Der Einfluß der verwendeten Hand konnte entweder der theoretischen Überlegung entsprechen, daß bei Rechtshändern die rechte Hand überlegen sei; damit sollte also die Kombination rechte Hand - linkes Ohr die besten Ergebnisse zeigen. Ausgeprägte Rechtshändigkeit könnte in diesem Fall eine deutlichere Ausprägung der Ergebnisse bewirken.

Als zweite Möglichkeit konnten die Befunde von Callan et al. (1974) bestätigt werden, bei denen die "ipsilaterale" Kombination linke Hand - linkes Ohr die kürzesten Reaktionen aufwies.

II. MATERIAL UND UNTERSUCHUNGS-METHODEN

a) Probanden

Wir untersuchten insgesamt 67 Probanden, 28 Studentinnen und 39 Studenten. Ihr Alter lag zwischen 22 und 36 Jahren, im Mittel bei 25,3 Jahren.

Die Auswahlkriterien für die Probanden waren deren subjektive Angaben, rechtshändig zu sein und "normal" zu hören.

Im Händigkeitstest stellten sich drei Probanden als links- bzw. beidhändig heraus (s. III a). Ihre Audiogramme blieben bei der Auswertung unberücksichtigt.

Bei der Auswertung der Audiogramme galt folgendes Kriterium: Der Abstand der Mittelpunkte zweier benachbarter "Zackenhänge" (vgl. Abb. 3) durfte nicht größer sein als 5 dB. Bei einigen Probanden traten Sprünge größer als 5 dB in den oberen Frequenzbereichen auf; in diesen Fällen wurde der betreffende Frequenzbereich (ca. 500 Hz) von der Auswertung ausgenommen. Die Audiogramme zweier Probanden zeigten jedoch bereits im mittleren Frequenzbereich gehäuftes Auftreten großer Amplitudenschwankungen und konnten deshalb nicht ausgewertet werden.

Zur Auswertung kamen demnach die Audiogramme von 62 Probanden, 27 weiblichen und 35 männlichen.

b) Versuchsaufbau

Der Versuchsgang bestand aus zwei Teilen: einem Händigkeitstest und der Békésy-Audiometrie.

1.) Händigkeitstest:

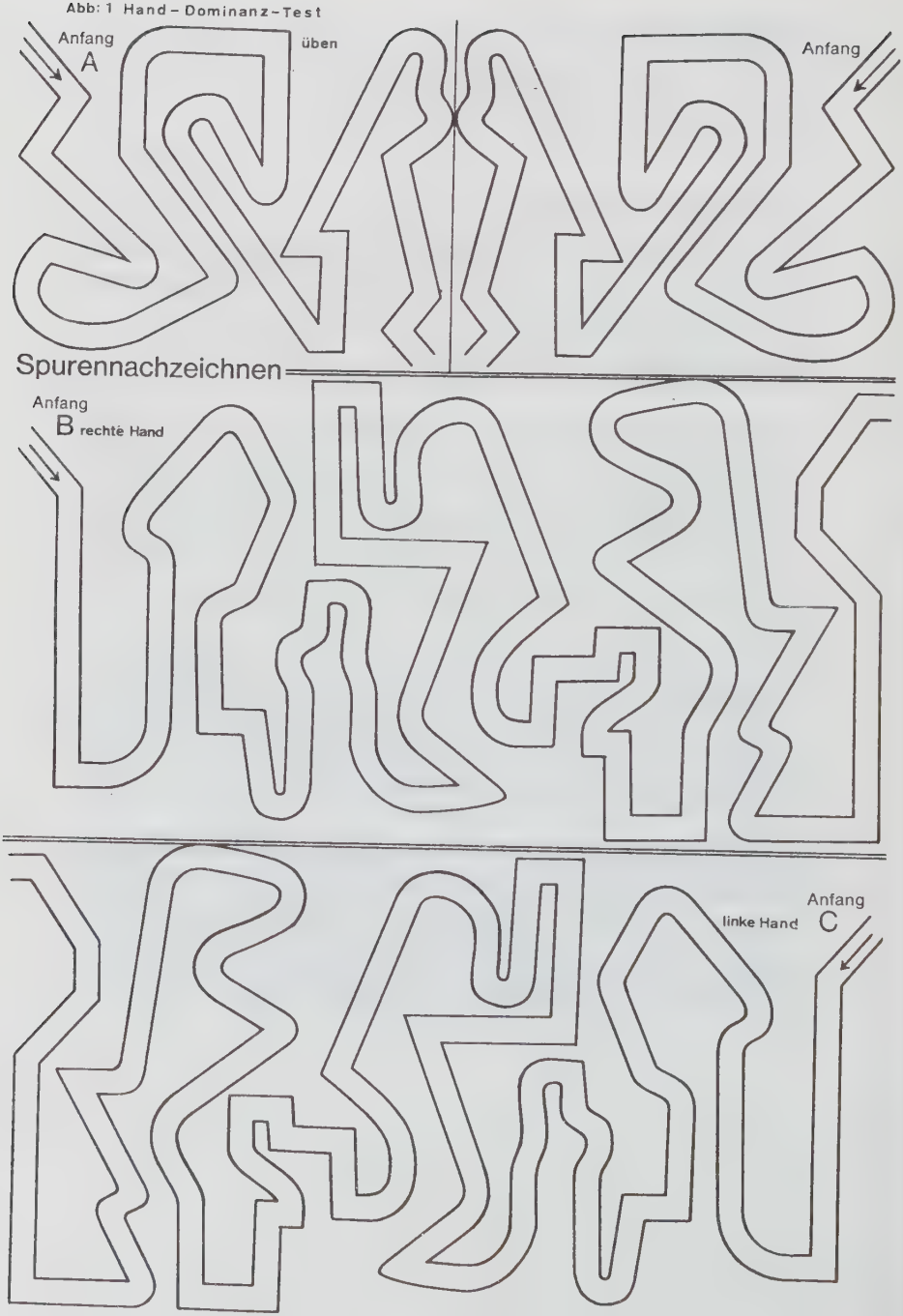
Wir verwendeten den Hand-Dominanz-Test (HDT) nach Steingrüber und Lienert (1976) - vgl. Abb. 1. Er diente uns zur Objektivierung sowie Feststellung der Stärke der Rechtshändigkeit der Probanden.

Der HDT stellt einen "Papier- und Bleistift-Test" dar und besteht aus drei Untertests: 1. Spurennachzeichnen, 2. Kreisepunktieren und 3. Quadratepunktieren. Durch die zeichnerischen Anforderungen dieser Aufgaben werden genauere Aussagen über die angeborene Seitenpräferenz ermöglicht als durch reine Schreibaufgaben (vgl. Schwarz 1971).

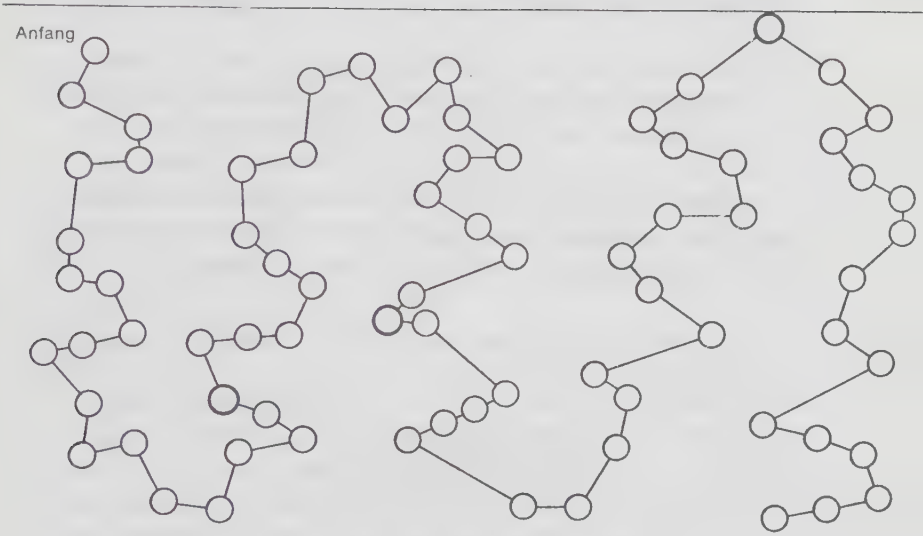
Die Aufgaben für die rechte und linke Hand sind zueinander spiegelbildlich, so daß die rechte Hand in der gewohnten Schreibrichtung von links nach rechts zeichnet, die linke Hand dagegen von rechts nach links.

Die Versuchspersonen übten bei jedem Untertest zunächst mit der rechten, dann mit der linken Hand und führten anschließend die Aufgabe durch, wiederum zuerst mit der rechten Hand. Für jede Aufgabe stand pro Hand eine Höchstzeit von 30 Sekunden zur Verfügung.

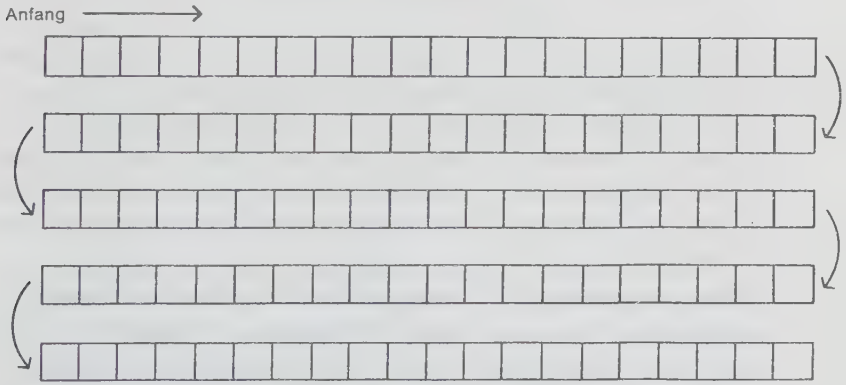
Abb: 1 Hand - Dominanz - Test



Kreisepunktieren



Quadratepunktieren



Legende: A: Üben B: rechte Hand C: linke Hand

2.) Békésy-Audiogramme:

Die Hörschwellen-Audiogramme wurden mittels eines Diagnostik-Audiometers Grason-Stadler 1701 mit gekoppeltem X-Y-Schreiber Hewlett-Packard 7010 A erstellt.

Von den verschiedenen Möglichkeiten der Békésy-Audiometrie verwendeten wir das "forward sweep frequency tracing", die Messung mit ansteigender Frequenz.

Der folgende Schaltplan zeigt den Aufbau des Audiometers:

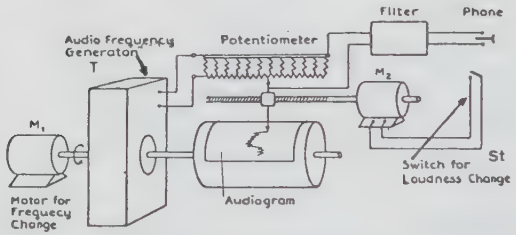


Abb. 2 (aus: v. Békésy 1947)

Motor M_1 bewirkt eine stetige Zunahme der Frequenz des vom Tongenerator T produzierten Tons. Über die Taste St steuert der Proband den schnell ansprechenden Motor M_2, der die Intensität des vom Tongenerator T produzierten Tons stetig ändert: Bei gedrückter Steuertaste St nimmt die Intensität ab, Loslassen bewirkt Intensitätszunahme.

Die Aufgabe des Probanden besteht darin, die Taste St, die er in der Hand hält, zu drücken, sobald er den Generatorton wahrnimmt, worauf dessen Intensität abnimmt. Sobald der Ton verklungen ist, führt Wieder-Loslassen der Taste St zum Wiederansteigen der Intensität.

Auf diese Weise wird eine Zick-Zack-Kurve aufgezeichnet, deren Umkehrpunkte jeweils einige dB unter bzw. über der Hörschwelle des Probanden liegen.

Die Form der Audiogramme (s. Abb. 3: drei Audiogramme) variiert in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren:

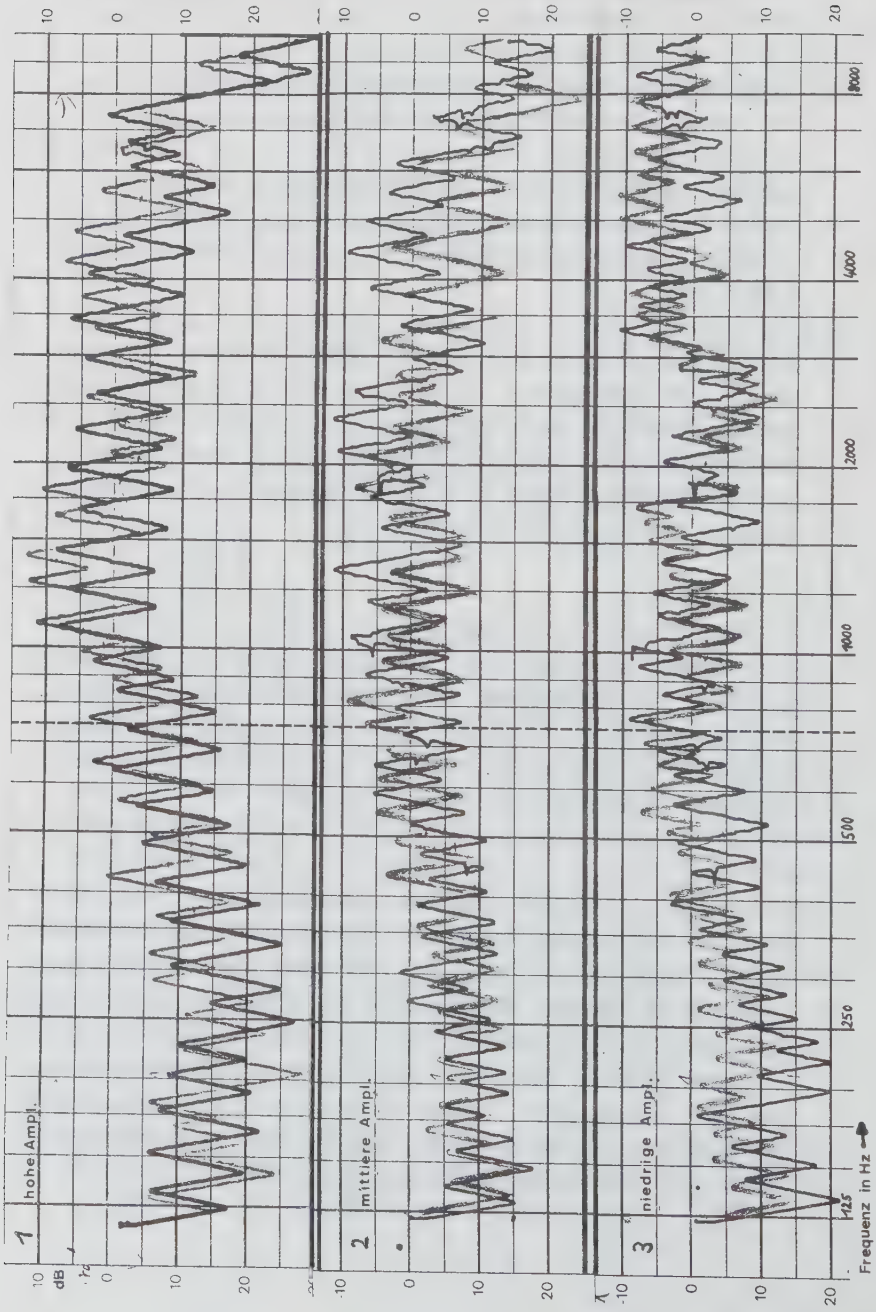
Zunächst bestimmen die vorgewählten Geschwindigkeiten der Frequenzänderung (in Richtung der x-Achse auf dem Audiogramm) und der Intensitätsänderung (in Richtung der y-Achse) die Steilheit und die Amplitude der Zacken. Schnellere Frequenzänderung bewirkt weiter auseinandergezogene Zacken; schnellere Intensitätsänderung größere Amplitude.

Weiter beeinflußen individuelle Eigenschaften des Probanden das Audiogramm: Seine Hörschwelle im jeweiligen Frequenzbereich; seine Fähigkeit, Änderungen von Intensität und Tonhöhe wahrzunehmen sowie seine Reaktionsgeschwindigkeit, in die wiederum Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit eingeht.

Als Hörschwelle gilt nach Békésy (1947) und anderen Autoren die Verbindungslinie der Mittelpunkte der "Zakkenhänge" im Audiogramm. Harbert et al. (1968) halten dagegen die unteren Umkehrpunkte der Zacken für exakter. In beiden Fällen verläuft diese Linie bei Normalhörern weitgehend parallel zur Null-dB-Linie.

Die übrigen genannten Faktoren wirken sich auf Breite und Höhe der Zacken aus: Wenn der Proband große Intensitätsdifferenzen und damit längere Zeit benötigt, um entscheiden zu können, wann er den Ton hört bzw. nicht mehr hört, dann resultieren daraus hohe und weiter auseinandergezogene Zacken, damit insgesamt eine niedrige Zackenanzahl pro Zeiteinheit. Große Zackenanzahl pro Zeiteinheit ist also gleichbedeutend mit engen, niedrigen Zacken und weist auf schnelle Reaktionsfähigkeit hin.

Abb. 3: drei Audiogramme mit hoher, mittlerer und niedriger Zacken-Amplitude



c) Versuchsablauf

Wir führten bei jedem Probanden nacheinander Händigkeitstest und Hörprüfung durch.

Die Probanden wurde zufallsmäßig zwei Gruppen zugeteilt; Gruppe 1 bediente die Steuertaste des Audiometers mit der (subjektiv) dominanten rechten Hand, Gruppe 2 mit der linken.

Die Reihenfolge der Ohren bei der Audiometrie richtete sich nach der Gruppe: Gruppe 1 begann mit dem rechten Ohr, Gruppe 2 mit dem linken, so daß das zur verwendeten Hand gleichseitige Ohr jeweils als erstes, das kontralaterale Ohr als zweites getestet wurde.

Da nach Bakker and Boeijenga (1970) sowie Shepherd and Goldstein (1968) die Reihenfolge der Ohrtestung keinen Einfluß auf die erhaltene Asymmetrie ausübt, verzichteten wir auf eine zusätzliche Änderung der Ohrenfolge innerhalb der Gruppen.

Bei der Hörschwellenmessung saß der Proband allein in einem schallgedämpften Raum; Untersucher und Audiometer befanden sich im Nebenraum. Vom Audiometer führten die Zuleitungen der Steuertaste und des Kopfhörers (TDH 49) durch ein Loch in der Wand zum Probanden. Dieser hörte den Generatorton über den Kopfhörer auf dem jeweils zu untersuchenden Ohr; das kontralaterale Ohr erhielt keinen Ton, aber auch kein Maskierungsgeräusch.

Die Versuchsbedingungen waren:

- Dauertonreizung
- Frequenzzunahme zwei Oktaven pro Minute
- Intensitätsänderung 5 dB pro Sekunde
- Frequenzbereich 125 Hz bis 10 kHz.

Unter diesen Bedingungen dauerte ein Durchlauf dreieinhalb Minuten.

Wir wählten diese schnelle Intensitäts- und Frequenzänderung, um einen hohen Schwierigkeitsgrad der Aufgabe zu erreichen und damit eine deutlichere Ausprägung eventueller Ohrasymmetrien zu erhalten.

Vor Beginn des Hörtests erhielten die Probanden eine kurze Erklärung des Gerätes und des Versuchsablaufs. Sie wurden besonders darauf hingewiesen, sich genau auf die Änderungen von Frequenz und Intensität des Prüftons zu konzentrieren.

Um sicherzugehen, daß der Proband seine Aufgabe richtig verstanden hatte, erfolgte zunächst ein Probelauf von 125 bis 600 Hz (Dauer ca. 1 Minute) mit dem Ohr, das nach der Gruppenzuteilung als zweites vorgesehen war. Die Steuertaste bediente der Proband dabei nicht mit der seiner Gruppe entsprechenden Hand, sondern mit der anderen, um ein vorzeitiges Einspielen zu verhindern.

Während des Probelaufs hörten sich die meisten Probanden soweit ein, daß sich innerhalb der aufgezeichneten Audiogramme keine gröberen Lerneffekte mehr zeigten.

Im Anschluß an den Probelauf wurde der Kopfhörer gedreht- und der Proband nahm die Steuertaste in die "Versuchshand".

Nach dem 1. Durchlauf wurde der Kopfhörer wiederum gedreht. Der Durchlauf mit dem zweiten Ohr erfolgte unmittelbar anschließend.

III. AUSWERTUNG UND ERGEBNISSE

a) Hand-Dominanz-Test

(Steingrüber und Lienert 1976)

Ausgewertet wurde bei Test 1 (Spurennachzeichnen) lediglich die benötigte Zeit; bei Test 2 und 3 (Kreisepunktieren und Quadratepunktieren) ging die Zahl der "Treffer" mit ein. Aus den Ergebnissen beider Hände wurde für jeden Einzeltest ein Rohwert errechnet nach der Formel:

$$R = \frac{\text{Leistung rechte Hand - Leistung linke Hand}}{\text{Leistung rechte Hand + Leistung linke Hand}} \times 100$$

Ein positiver Rohwert ergibt sich also bei besserer Leistung der rechten Hand und bestätigt damit die subjektive Rechtshändigkeit des Probanden. Ein negativer Rohwert bedeutet bessere Leistung der linken Hand.

Test 2 (Kreisepunktieren) zeigte im Mittel den höchsten (16,6), Test 3 (Quadratepunktieren) den niedrigsten Rohwert (8,7).

Die drei Rohwerte addiert ergeben den Gesamtwert, dessen Aussage wir folgendermaßen definierten:

- Werte unter + 5 einschließlich negativer Werte: Linkshändigkeit
- Werte zwischen + 5 und + 15: Beidhändigkeit
- Werte zwischen + 16 und + 39: Rechtshändigkeit
- Werte größer gleich + 40: ausgeprägte Rechtshändigkeit

Der mittlere Gesamtwert betrug 37,0; das entspricht deutlicher Rechtshändigkeit.

Die Ergebnisse verteilten sich wie folgt (Tab. 2):

	+ 5 (Linksh.)	+ 5 - + 15 (Beidh.)	16 - 39 (Rechtsh)	≤ 40 (starke Re.h.)
Anzahl der Probanden (n = 67)	1	4	35	27

Tab. 2: Ausprägung der Rechtshändigkeit der Probanden

Die Probanden mit Gesamtwerten größer als + 15 ("Rechtshänder und "starke Rechtshänder") zeigten ausschließlich positive Rohwerte. Bei dem als "Linkshänder" und zweien der als "Beidhänder" eingestuften Probanden traten bei Test 1 negative Rohwerte auf, d. h. die Leistung der linken Hand war besser als die der rechten. Auf diesen überraschenden Befund angesprochen, erinnerten sich diese Probanden, als Kind viele Tätigkeiten mit der linken Hand ausgeführt zu haben; alle drei schrieben jedoch mit der rechten Hand. Diese drei Probanden wurden als eigentliche Linkshänder von der Auswertung der Audiogramme ausgenommen.

Die beiden anderen "Beidhänder" (Gesamtwert je + 12) zeigten auch bei Test 1 positive Rohwerte; ihre Audiogramme nahmen an der Auswertung teil.

"Außer Konkurrenz" nahmen zur Bestätigung des Hand-Dominanz-Tests drei Probanden teil, die angaben, eigentlich Linkshänder zu sein, obwohl alle drei mit der rechten Hand schrieben. Sie zeigten Gesamtwerte unter + 5 und - zumindest bei Test 1 - negative Rohwerte. Audiogramme wurden von diesen drei Probanden nicht angefertigt.

b) Audiogramme

Von jedem Probanden liegen zwei Graphen vor: der Gruppe entsprechende Hand kombiniert einmal mit dem rechten, einmal mit dem linken Ohr.

Diese Audiogramme wurden zum Einen ausgewertet nach der Amplitude bzw. der Anzahl der Zacken, zum Anderen nach den Hörschwellen.

1. Zackenamplitude bzw. Zackenanzahl

Wie Abb. 3 zeigt, ändert sich die Zackenamplitude innerhalb der Audiogramme desselben Probanden nur wenig. Bei einigen Audiogrammen fanden sich jedoch im oberen Frequenzbereich vereinzelte größere Zacken, die möglicherweise durch Störgeräusche oder momentan mangelnde Aufmerksamkeit verursacht worden waren. Um eine Verzerrung der Gesamt-Zackenanzahl zu vermeiden, wurde der betreffende Frequenzbereich (ca. 500 Hz ≙ 10 Sekunden) von der Auswertung ausgenommen.

Von Proband zu Proband unterschieden sich die Zackenamplituden oft deutlich, entsprechend den Befunden von Jerger (1960), der Amplituden zwischen 3 und 20 dB, im Mittel bei 10 dB gefunden hatte, sowie Hahlbrock (1965) - Amplituden von 3 - 14 dB - und Shepherd and Goldstein (1968) - Amplituden zwischen 4 und 16 dB - .

Hinsichtlich der Zackenamplituden wurden die Audiogramme zweimal ausgewertet:

Auswertung 1: über den gesamten Frequenzbereich
200 Hz - 8000 Hz

Auswertung 2: im Bereich zwischen 1000 Hz und 5000 Hz.

Der Frequenzbereich zwischen 1 und 5 kHz gilt nach

v. Békésy (1947) und Hahlbrock (1965) als besonders zuverlässig.

Da die Breite und Höhe der Zackenamplituden im Békésy-Audiogramm nur ungenau und aufwendig zu messen sind, wählten wir als Maß für die Reaktionsfähigkeit des Systems Hand-Ohr die Zackenanzahl bzw. die Zahl der Umkehrpunkte der Audiogramm-Kurve. (vgl. Jerger 1960; Kießling 1977).

Um vergleichbare Zahlen zu erhalten, bezogen wir die Anzahl der Umkehrpunkte auf die auf der x-Achse durchlaufene Strecke in cm. Diese Strecke entspricht der Zeit bzw. der Frequenzänderung: 3,45 cm auf dem Audiogramm (x-Achse) werden gerätbedingt in 30 Sekunden durchlaufen und entsprechen der Frequenzzunahme von 1 Oktave.

Damit ergab sich für jeden Durchlauf ein P u n k t - w e r t , der sich aus der Anzahl der Umkehrpunkte dividiert durch die durchlaufene Strecke auf dem Audiogramm berechnete (Umkehrpunkte pro cm, UKP/cm).

Diese Umkehrpunkte verteilen sich in Auswertung 1 bei Gruppe 1 zwischen 2,21 UKP/cm als dem niedrigsten und 4,79 UKP/cm als dem höchsten Wert, bei Gruppe 2 zwischen 2,38 UKP/cm und 5,19 UKP/cm. In Auswertung 2 liegen sie bei Gruppe 1 zwischen 2,25 und 5,38 UKP/cm, bei Gruppe 2 zwischen 2,38 und 5,00 UKP/cm.

Die Mittelwerte aller Probanden zeigt Tabelle 3.

Tabelle 3: Mittlere Punktwerte (UKP/cm), alle Probanden

	Rechtes Ohr $\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x	Linkes Ohr $\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x
Auswertung 1:				
Gruppe 1: n = 31	3,737	0,713	3,744	0,699
Gruppe 2: n = 31	3,604	0,647	3,618	0,666
Auswertung 2:				
Gruppe 1: n = 30	3,683	0,769	3,776	0,805
Gruppe 2: n = 29	3,560	0,669	3,526	0,690

n: Anzahl der Probanden
$\bar{x}$: Mittelwert der Punktwerte
s_x: Standardabweichung des Mittelwertes
Gruppe 1: Probanden, die die Steuertaste des Audiometers mit der rechten Hand bedienten
Gruppe 2: mit der linken Hand

Auswertung 1: gesamter Frequenzbereich 200 Hz - 8000 Hz
Auswertung 2: Frequenzbereich 1000 - 5000 Hz

Der Unterschied zwischen den Leistungen beider Hand-Ohr-Kombinationen e i n e s Probanden zeigt sich, wenn man die beiden Punktwerte des Probanden (aus dem Audiogramm seines rechten und linken Ohrs) voneinander subtrahiert (vgl. Bakker 1967, 1969, 1970; Knox and Boone 1970). Wir subtrahierten den Punktwert des Audiogramms des rechten Ohrs vom Punktwert der Links-Ohr-Kurve des betreffenden Probanden. Auf diese Weise erhielten wir positive Werte bei höherem Punktwert der Kombination Hand-linkes Ohr; negative Punktwertdifferenz zeigt Überlegenheit der Kombination mit dem rechten Ohr an.

Die P u n k t w e r t d i f f e r e n z e n bewegen sich in Auswertung 1 bei Gruppe 1 zwischen + 0,82 UKP/cm

und - 0,78 UKP/cm; bei Gruppe 2 zwischen +0,60 und - 0,40 UKP/cm; in Auswertung 2 liegen sie bei Gruppe 1 zwischen + 1,62 und - 0,75 UKP/cm, bei Gruppe 2 zwischen + 0,88 und - 0,88 UKP/cm.

Die Punktwertdifferenz ± 0,00 UKP/cm entspricht gleichem Punktwert beider Audiogramme eines Probanden. Dies trat in Auswertung 1 bei 4 Probanden (6 %) auf, in Auswertung 2 bei 8 Probanden (14 %).

Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte der Punktwertdifferenzen.

Tabelle 4: Mittlere Punktwertdifferenzen (UKP/cm), alle Probanden

\- ≙ höherem Punktwert der Rechts-Ohr-Kurve
\+ ≙ höherem Punktwert der Links-Ohr-Kurve

	$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x		$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x	
Auswertung 1:						
Gruppe 1:	- 0,32	0,270	n = 14	+ 0,36	0,226	n = 14
Gruppe 2:	- 0,23	0,187	n = 13	+ 0,18	0,141	n = 17
Auswertung 2:						
Gruppe 1:	- 0,46	0,265	n = 12	+ 0,56	0,438	n = 15
Gruppe 2:	- 0,34	0,255	n = 15	+ 0,35	0,290	n = 9

Legende: s. Tab. 3

Ergebnisse bei ausgeprägter Rechtshändigkeit:

Die Audiogramme der Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit (HDT-Werte größer gleich 40) wurden gesondert nochmals ausgewertet.

Hier verteilen sich die P u n k t w e r t e in Auswertung 1 bei Gruppe 1 zwischen 2,44 UKP/cm und 4,75 UKP/cm,
bei Gruppe 2 zwischen 2,38 und 4,15 UKP/cm;

in Auswertung 2 liegen sie bei Gruppe 1 zwischen 2,25 UKP/cm und 5,38 UKP/cm, bei Gruppe 2 zwischen 2,63 und 4,63 UKP/cm.

Tabelle 5 zeigt die mittleren Punktwerte der ausgeprägt rechtshändigen Probanden.

Tabelle 5: Mittlere Punktwerte, Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit

	rechtes Ohr		linkes Ohr	
	$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x	$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x
Ausw. 1: Gruppe 1 n = 11	3,673	0,719	3,545	0,718
Gruppe 2 n = 15	3,284	0,382	3,350	0,427
Ausw. 2: Gruppe 1 n = 11	3,670	0,769	3,640	0.854
Gruppe 2 n = 15	3,267	0,470	3,283	0,475

Legende: s. Tab. 3

Die P u n k t w e r t d i f f e r e n z e n verteilen sich in Auswertung 1 bei Gruppe 1 zwischen + 0,55 und - 0.78 UKP/cm,
bei Gruppe 2 zwischen + 0,52 und - o,40 UKP/cm;
in Auswertung 2 liegen sie zwischen + 0.75 und - 0,63 UKP/cm bei Gruppe 1,
bei Gruppe 2 zwischen + 0,88 und - 0,88 UKP/cm.

Die Mittelwerte zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6: Mittlere Punktwertdifferenzen, Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit.

	$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x	$\bar{x}$ (UKP/cm)	s_x
Auswertg. 1 Gruppe 1	- 0,41	n = 6 0,322	+ 0,26	n = 4 0,224
Gruppe 2	- 0,21	0,217 n = 5	+ 0,21	0,148 n = 10
Auswertg. 2 Gruppe 1	- 0,40	0,184 n = 6	+ 0,51	0,277 n = 4
Gruppe 2	- 0,35	0,290 n = 5	+ 0,34	0,303 n = 6

Legende: Siehe Tab. 3 und 4

2. Hörschwellen

Aus den kontinuierlichen Audiogrammen nach v. Békésy lasen wir die Hörschwellen der Probanden bei den Frequenzen 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 und 6,o Hz ab.

Da eines der Auswahlkriterien der Probanden "subjektiv normales Hören" gewesen war, waren keine gröberen Hörverluste zu erwarten. Trotzdem fand sich bei zwei Probanden ein Hörverlust auf dem linken Ohr von je ca. 40 dB im Bereich 4 - 5 kHz.

Die übrigen Probanden zeigten Hörschwellenkurven im Bereich der Null-dB-Linie. Leichtere Hörverluste bis etwa 15 dB traten bei einigen Probanden bei 500 Hz und bei 6 kHz auf, also in den Randzonen des Audiogramms.

Die Audiogrammkurven des rechten und linken Ohrs eines Probanden lagen meist nah beieinander und überkreuzten sich oft mehrmals, so daß bei den ausgewählten Frequenzen einmal das rechte, einmal das linke Ohr des Probanden die niedrigere Hörschwelle, bzw. beide Ohren denselben Wert aufwiesen.

Die Differenzen zwischen den Hörschwellen der beiden Ohren lagen bei Gruppe 1 (rechte Hand) in 74,7 % der Bestimmungen, bei Gruppe 2 (linke Hand) in 73,1 % unter 5 dB.

Tabelle 7 zeigt die Anzahl der Probanden mit niedrigerer Schwelle des linken bzw. rechten Ohrs in Abhängigkeit von der Größe der Differenz.

Tabelle 7

Frequenz (kHz)		0,5		1,0		2,0		4,0		6,0		Summe (%)	
Niedrigere Schwelle:		li	re	li	re	li	re	li	re	li	re	li	re
Gruppe 1:													
D	0 dB	3		4		2		2		1		12 (8,0)	
i	1 - 5 dB	6	15	10	11	9	12	7	12	8	10	40 (26,7)	60 (40,0)
f	6 - 10 dB	3	2	3	2	4	2	3	5	5	3	18 (12,0)	14 (9,3)
f	10 dB	-	1	-	-	-	1	-	1	-	3	- (-)	6 (4,0)
Gruppe 2:													
e	0 dB	1		2		3		3		2		11 (7,6)	
r	1 - 5 dB	10	14	6	19	4	15	4	10	6	7	30 (20,7)	65 (44,8)
e	6 - 10 dB	-	4	1	1	2	5	3	7	1	9	7 (4,8)	26 (17,9)
n	10 dB	-	-	-	-	-	-	-	2	-	4	- (-)	6 (4,1)
z													

Legende:

Niedrigere Schwelle: li (re): Anzahl der Probanden, deren linkes (rechtes) Ohr bei der jeweiligen Frequenz die niedrigere Hörschwelle aufwies

Summe (%): Summe ausgedrückt in % aller Bestimmungen der jeweiligen Gruppe

IV. D I S K U S S I O N

Die Békésy-Audiometrie stellt eine Reintonaudiometrie dar, wobei das hier verwendete "sweep frequency tracing", die Messung mit stetig steigender (bzw. sinkender) Tonhöhe, durch relativ schnelle Frequenz- und Intensitätsänderung pro Zeiteinheit gekennzeichnet ist. Demnach war, entsprechend den in der Einführung zitierten Befunden, insbesondere von Kimura (1964) und Doehring (1972), eine Superiorität des linken Ohres als dem Rezeptor der "tondominanten" rechten Großhirnhemisphäre zu erwarten.

Über den Einfluß der Händigkeit bestanden zwei Hypothesen: Einerseits die theoretische Überlegung, daß bei Rechtshändern die dominante rechte Hand überlegen sein müßte; andererseits die Befunde von Callan et al. (1974), daß die zum stimulierten Ohr ipsilaterale Hand die besseren Ergebnisse aufweist.

Starke Rechtshändigkeit könnte im ersten Fall eine deutlichere Ausprägung der Ergebnisse bewirken.

a) Amplituden bzw. Zackenanzahl

Entsprechend den großen Unterschieden der Zackenamplituden zwischen den Audiogrammen der einzelnen Probanden ist die Streuung der Ergebnisse um den Mittelwert groß.

Die Ergebnisse im Einzelnen

1.) Die Ergebnisse aller Probanden
Mittlere Punktwerte, Vergleich der Gruppen
(Tab. 3)

Gruppe 1, das sind die Probanden, die die Intensitätssteuertaste des Audiometers mit der r e c h t e n

Hand bedient hatten, erreichte im Mittel höhere Punktwerte (UKP/cm) in den Audiogrammen als Gruppe 2 (linke Hand).

Dies trifft für beide Kombinationen (rechte Hand - rechtes Ohr und rechte Hand - linkes Ohr) zu und findet sich sowohl in Auswertung 1 - gesamter Frequenzbereich - als auch in Auswertung 2 - eingeschränkter Frequenzbereich - Dabei zeigt in Auswertung 1 die Kombination rechte Hand - linkes Ohr den höchsten, die Kombination linke Hand - rechtes Ohr den niedrigsten mittleren Punktwert. Mit $t = 0,82$, $df = 60$ unterscheiden sich jedoch nicht einmal diese Mittelwerte signifikant (Signifikanzgrenze $t = 1,7$; p größer 0,05). Für die Differenzen zwischen den übrigen Kombinationen ergab der t-Test Werte unter $t = 0,7$.

In Auswertung 2 (eingeschränkter Frequenzbereich, 1 - 5 kHz) zeigte Gruppe 1 - linkes Ohr wiederum den höchsten, aber Gruppe 2 - linkes Ohr - den niedrigsten mittleren Punktwert. Mit $t = 1,28$; $df = 57$ ist diese Differenz nicht signifikant, ebenso die Differenzen zwischen den übrigen Hand-Ohr-Kombinationen in Auswertung 2 (t-Werte unter $t = 0,8$).

Damit unterscheiden sich die mittleren Punktwerte zwischen Gruppe 1 (rechte Hand) und Gruppe 2 (linke Hand) in keinem Fall signifikant, erkennbar ist aber eine Tendenz zu höheren Punktwerten bei Gebrauch der rechten Hand (Gruppe 1) im Versuch.

Vergleich der Ohren innerhalb der Gruppe (Tab. 3)

Bei Gruppe 1 wiesen in beiden Auswertungen die Audiogrammkurven der linken Ohren im Mittel höhere Punktwerte auf als die unter Beteiligung des rechten Ohrs aufgezeichneten Audiogramme. Bei Gruppe 2 (linke Hand) zeigten in Auswertung 1 die linken Ohren, die rechten Ohren in Auswertung 2 die höheren mittleren Punktwerte.

Der t-Test ergab Werte unter t = 0,5. Damit unterscheiden sich die mittleren Punktwerte der rechten und linken Ohren innerhalb der Gruppen nicht signifikant.

Eine Tendenz zeichnet sich nur bei Gebrauch der dominanten rechten Hand im Versuch ab; Hier scheint das linke Ohr geringen Vorsprung zu haben.

Mittlere Punktwertdifferenzen (Tab. 4)

Die Anzahl der Probanden, die höhere Punktwerte des linken Ohrs zeigen (≙ positiver Punktwertdifferenz) ist in beiden Auswertungen (gesamter und eingeschränkter Frequenzbereich) bei beiden Gruppen (rechte und linke Hand) in etwa gleich groß wie die Anzahl der Probanden mit negativer Punktwertdifferenz, also höherem Punktwert des Audiogramms des rechten Ohrs.

Der Vergleich der mittleren Punktwertdifferenzen selbst ergibt aber bei Gruppe 1 in beiden Auswertungen größere Werte als bei Gruppe 2, sowohl bei negativer als auch bei positiver Punktwertdifferenz.

Dieser Unterschied zwischen den beiden Gruppen ist für die positiven Punktwertdifferenzen in Auswertung 1 signifikant: t = 2,77; df = 29; p größer 0,025. Die übrigen t-Werte liegen unter t = 1,3 und erreichen damit die Signifikanzgrenze von t = 2,05; p größer 0,025 nicht.

Der Gebrauch der dominanten Hand bewirkt also - zumindest mit Einschränkungen - größere Punktwertdifferenzen, das bedeutet größere Unterschiede zwischen den Punktwerten der beiden Audiogrammkurven eines Probanden. Hierbei ist keine Überlegenheit eines Ohrs feststellbar, weder in der Verteilung der Probanden noch in der Größe der Punktwertdifferenzen.

2.) Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit (Tab. 5,6)

Bei der Auswertung der Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit zeigte - wie bereits bei der Auswertung aller Probanden - Gruppe 1 (rechte Hand) im Mittel höhere Punktwerte als Gruppe 2, und zwar in beiden Auswertungen (gesamter und eingeschränkter Frequenzbereich) und bei den Audiogrammen beider Ohren.

In beiden Auswertungen zeigte hier die Kombination rechte Hand - rechtes Ohr den höchsten, die Kombination linke Hand - rechtes Ohr den niedrigsten mittleren Punktwert. In Auswertung 1 unterscheiden sich diese Mittelwerte signifikant: $t = 1,83$; $df = 25$; p größer 0,05; in Auswertung 2 liegt der t-Wert mit $t = 1,61$ knapp unter der Signifikanzgrenze; die übrigen t-Werte liegen unter $t = 1,6$.

Die Ergebnisse der stark rechtshändigen Probanden bekräftigen also hier, was schon bei der Auswertung aller Probanden als Tendenz zu erkennen war: Bei Bedienung der Steuertaste des Audiometers mit der dominanten rechten Hand (Gruppe 1) ergeben sich im Mittel höhere Punktwerte als bei Gebrauch der linken Hand.

Beim Vergleich der Ohren innerhalb der Gruppen wiesen bei Gruppe 1 in beiden Auswertungen die Audiogramme der rechten Ohren, bei Gruppe 2 die der linken Ohren im Mittel die höheren Punktwerte auf. Diese Unterschiede zwischen rechtem und linkem Ohr innerhalb einer Gruppe sind nicht signifikant (t kleiner 0,5).

Die sich hier abzeichnende Tendenz - Gruppe 1 - rechte Ohren überlegen, Gruppe 2 - linke Ohren überlegen - stimmt überein mit der Tendenz bei den Ergebnissen aller Probanden. Zusammen mit den niedrigen t-Werten weist dies darauf hin, daß keine der Hand-Ohr-Kombinationen

als den anderen überlegen bezeichnet werden kann.

Die mittleren Punktwertdifferenzen sind bei Gruppe 1 in beiden Auswertungen sowohl bei positiver als auch bei negativer Punktwertdifferenz größer als bei Gruppe 2. Dieses Ergebnis entspricht dem der Auswertung aller Probanden. Eine statistische Aussage war wegen der geringen Probandenzahlen nicht möglich (Tab. 6.).

Vergleicht man die e i n z e l n e n mittleren Punktwerte der Auswertung aller Probanden (Tab. 3) mit denen der Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit (Tab. 5), so zeigt sich, daß die Werte der Gruppe 1 in allen Fällen kaum voneinander differieren (t-Werte kleiner als t = 0,81). Die mittleren Punktwerte der Gruppe 2 (linke Hand) dagegen sind bei den Probanden mit ausgeprägter Händigkeit insgesamt deutlich niedriger als die entsprechenden Mittelwerte aller Probanden. Diese Differenz ist in Auswertung 1 für rechtes wie für linkes Ohr signifikant: t = 1,8 (rechtes Ohr) bzw. t = 2,01 (linkes Ohr); df = 45; p 0,05. Bei Auswertung 2 sind die Differenzen nicht signifikant (t = 1,51 (rechtes), t = 0,72 (linkes Ohr); df = 42).

Auswertung 1 zeigt also, daß mit stärkerer Ausprägung der Rechtshändigkeit die Leistung der linken Hand signifikant abfällt, die der dominanten rechten Hand sich dagegen kaum ändert.

Im "Händigkeitstest" HDT stellten wir "ausgeprägte Rechtshändigkeit" anhand der Differenz der Leistungen beider Hände fest, und diese kann sowohl durch bessere Leistung der rechten Hand als auch durch schlechtere Leistung der linken Hand vergrößert werden.

Infolge der allgemeinen Übung der rechten Hand (Schreiben usw.) sind bei ihr kaum Leistungsunterschiede zwischen

Rechtshändern und ausgeprägten Rechtshändern feststellbar. Die linke Hand aber zeigt bei ausgeprägten Rechtshändern - wohl infolge stärkerer "Vernachlässigung" - schwächere Leistungen.

Eine klare Überlegenheit der linken Ohren, wie wir sie erwartet hatten, ergab sich nicht: Die mittleren Punktwerte der Links-Ohr-Audiogramme sind teils höher, teils aber auch niedriger als die der Rechts-Ohr-Kurven. Die Anzahl der Probanden mit positiver Punktwertdifferenz (höherem Punktwert des Audiogramms des linken Ohrs) ist in sämtlichen Auswertungen in etwa gleich groß wie die Anzahl der Probanden mit negativer Punktwertdifferenz.

Auch sind die Unterschiede zwischen den beiden Audiogrammen eines Probanden (≙ Größe der Punktwertdifferenz) bei höherem Punktwert des linkes Ohrs nicht größer als bei höherem Punktwert der Rechts-Ohr-Kurve.

Es besteht somit nicht nur keine signifikante Superiorität eines Ohres, sondern auch keine einheitliche Tendenz in Richtung einer solchen Überlegenheit.

Ein zur Ergänzung erwogener i n t r a individueller Vergleich zwischen verschiedenen Audiogrammen (bezüglich der verwendeten Hand) desselben Probanden erübrigte sich deshalb. An dieser Stelle sei erwähnt, daß wie den inter-individuellen Gruppenvergleich vorgezogen hatten, weil er durch Lerneffekte weniger beeinflußt wird.

Für die fehlende Superiorität des linken Ohrs können nun mehrere Ursachen verantwortlich sein: Die Beschaffenheit des Tonstimulus, die Aufgabenstellung und der verwendete Auswertungsmodus.

Der reine Ton des Békésy-Audiometers mit rascher Änderung von Tonhöhe und Intensität entspricht annähernd den Bedingungen, unter denen Superiorität des linken Ohrs erhalten wurde (z. B. Kimursa 1964; Doehring 1972).
Die Stimulierung besitzt zwar im Lauter- und Leiserwerden des Prüftons einen gewissen rhythmischen Charakter, aber doch keineswegs in der Art, die Überlegenheit des rechten Ohres erwarten ließe, wie es beispielsweise für morseähnliche Tonfolgen der Fall wäre (Halperin et al. 1973).

Auch besteht in der Versuchsanordnung des Békésy-Audiometers keine Unsicherheit über das zu stimulierende Ohr, die einen Aufmerksamkeitsvorteil der linken Großhirnhemisphäre und damit des rechten Ohrs bedingen könnte (Callan et al. 1974; Bakker 1970).

Die Art des Tonstimulus und seine Darbietung scheiden damit als Ursache für die fehlende Ohrdominanz aus.

Nach Bakker (1970) muß die Aufgabenstellung eines Hörversuchs einen gewissen "Mindest"-Schwierigkeitsgrad aufweisen, um assymmetrische Ohrleistungen provozieren zu können. Es ist möglich, daß die Aufgabenstellung des Békésy-Audiogramms für den Probanden zu einfach ist. Der Vorteil, den das linke Ohr durch seine "direktere" Verbindung zur "tondominanten" rechten Großhirnhemisphäre besitzt (vgl. Kimura 1961), käme damit nicht zum Tragen, weil die leichte Aufgabe vom rechten Ohr ebensogut ausgeführt werden kann.

Schließlich kann die von uns verwendete Auswertung der Audiogramme zu grob sein, um vorhandene Unterschiede zwischen den Ohrleistungen zu erfassen. Ein Umkehrpunkt mehr bewirkt eine Änderung des Punktwertes um 0,05 UKP/cm in Auswertung 1, bzw. um 0,125 UKP/cm in Auswertung 2.
Die Punktwerte der Audiogramme liegen zwischen ca. 2,5 und 5,0 UKP/cm; damit bedeutet 1 Umkehrpunkt mehr eine

Änderung des Punktwertes um 1 - 2 % in Auswertung 1, um 2,5 - 5,0 % in Auswertung 2, abhängig von der Größe des Punktwertes.

Ergänzend sei hier vermerkt, daß der eingeschränkte Frequenzbereich (1 - 5 kHz) der Auswertung 2, der eigentlich zuverlässiger ist, bei den Punktwerten infolge der kleinen Meßstrecke zu ungenaueren Ergebnissen führt als Auswertung 1 (gesamter Frequenzbereich des Audiogrammes).

Nach unserer theoretischen Überlegung (vgl. Einführung) sollte die Kombination rechte Hand (Gruppe 1) - linkes Ohr die höchsten Punktwerte erreichen, wobei der Unterschied gegenüber den anderen Kombinationen bei den Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit größer sein sollte.

Callan et al. (1974) fanden in ihren Untersuchungen, daß die zum stimulierten Ohr ipsilaterale Hand schneller reagiert.

Unsere Ergebnisse konnten keine dieser beiden Hypothesen bestätigen: Bei der Auswertung aller Probanden zeigte - der theoretischen Überlegung entsprechend - die Kombination rechte Hand - rechtes Ohr im Mittel die höchsten Punktwerte; bei den Probanden mit ausgeprägter Rechtshändigkeit jedoch die Kombination rechte Hand - rechtes Ohr. Zudem unterschieden sich die Mittelwerte der Punktwerte der vier Kombinationen nicht signifikant voneinander.

b) Hörschwellen (Tab. 7)

Von den einzelnen Probanden mit einseitigem Hörverlust abgesehen, lagen die Audiogrammkurven eines Probanden meist nah beieinander, besonders in den mittleren Frequenzen: Bei knapp 75 % unserer gesamten Messungen betrug die Differenz zwischen den Hörschwellenwerten des rechten und linken Ohrs weniger als 5 dB. Bei 1 kHz sind die Differenzen am geringsten. Dies stimmt mit der von v. Békésy (1947) und Hahlbrock (1965) beschriebenen grösseren Zuverlässigkeit des mittleren Frequenzbereichs (1 - 5 kHz) überein.

Die rechten Ohren wiesen bei den ausgewählten Frequenzen häufiger die niedrigere Hörschwelle auf als die linken. Dies war zahlenmäßig deutlicher ausgeprägt bei den Probanden der Gruppe 2 (linke Hand), sowie - in beiden Gruppen - bei großer Differenz zwischen den Hörschwellenwerten: Wenn Differenzen größer als 8 dB auftraten, zeigte immer das rechte Ohr die niedrigere Schwelle.

Dieser Befund wird weiterhin dadurch bestätigt, daß bei einigen Probanden die Audiogrammkurve des rechten Ohrs im Ganzen über der des linken lag (3 Probanden aus Gruppe 1, 5 aus Gruppe 2), der umgekehrte Fall jedoch nicht auftrat.

Dieser Vorsprung des rechten Ohrs bei den Hörschwellen spricht, wie bereits die Ergebnisse der Auswertung der Zackenanzahl bzw. der Amplitude (s. a)), gegen eine Dominanz des linken Ohres bei der Perception des verwendeten Stimulus.

Daß die Überlegenheit des rechten Ohrs bei Gruppe 2 deutlicher ausgeprägt ist, könnte ein Hinweis darauf sein, daß die Reihenfolge der Ohren bei der Testung doch Einfluß auf das Ergebnis besitzt, obwohl Bakker and Boeijen-

ga (1970) sowie Shepherd and Goldstein (1968) dies bestreiten. Bei den Probanden der Gruppe 2 war das rechte Ohr als zweites getestet worden.

Diese Hypothese eines "Lerneffektes" könnte jedoch nur die stärkere Ausprägung der Rechts-Ohr-Superiorität in Gruppe 2 erklären, nicht aber ihr Auftreten überhaupt.

Die deutlichere Ausprägung der Überlegenheit des rechten Ohrs in Gruppe 2, also bei den Probanden, deren Audiogramme unter Beteiligung der linken Hand aufgezeichnet worden waren, steht im Übrigen im Gegensatz zu der von Callan et al. (1974) beschriebenen gegenseitigen Beeinflussung von Hand und ipsilateralem Ohr.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich die von Kimura (1964) und Doehring (1972) beschriebene Dominanz des linken Ohrs bei der Perception tonaler Stimuli im Békésy-Audiogramm nicht nachweisen läßt.

Bei den Zackenamplituden waren zwar Unterschiede zwischen den Audiogrammen der rechten und linken Ohren feststellbar; jedoch ergab sich keine einheitliche Tendenz in Richtung auf Superiorität eines Ohrs. Bei den Hörschwellen wiesen die rechten Ohren häufiger den niedrigeren Wert auf, doch war die Differenz zwischen den Schwellenwerten des rechten und des linken Ohrs meist gering.

Die Händigkeit eines Probanden wirkt sich hinsichtlich der Zackenamplituden im Békésy-Audiogramm dahingehend aus, daß Bedienung der Steuertaste mit der dominanten rechten Hand im Mittel - teilweise signifikant - geringere Amplituden (höhere Punktwerte) zur Folge hat als der Gebrauch der nichtdominanten linken Hand.

Stärkere Ausprägung der Rechtshändigkeit besitzt bei Verwendung der rechten Hand im Versuch keinen deutlichen Einfluß auf die Amplituden. Bei Gebrauch der linken, ungeübten Hand dagegen ergeben sich bei den stark rechtshändigen Probanden im Mittel - teils signifikant - niedrigere Punktwerte, entsprechend größeren Zackenamplituden als bei der Auswertung aller Probanden.

V. Z U S A M M E N F A S S U N G

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob und in welcher Weise das Békésy-Audiogramm durch laterale Dominanz - in diesem Fall Händigkeit und Ohrdominanz - beeinflußt wird.

Von 67 Probanden, deren Rechtshändigkeit mit Hilfe eines Zeichentests bestätigt worden war, erstellten wir mittels des Békésy-Audiometers Audiogramme von rechtem und linkem Ohr. Dabei bediente eine Gruppe der Probanden die Steuertaste des Audiometers mit der rechten, die andere Gruppe mit der linken Hand.

Bei der Auswertung fanden zum Einen die Amplituden bzw. die Zackenanzahl der Audiogramme, zum Anderen die Hörschwellen beider Ohren eines Probanden Berücksichtigung.

Die Ergebnisse zeigten im Mittel, teils signifikant, niedrigere Amplituden bei der Probandengruppe, die die rechte Hand beim Versuch verwendet hatte.

Die Ergebnisse von Probanden mit stark ausgeprägter Rechtshändigkeit unterschieden sich bei Gebrauch der dominanten rechten Hand im Versuch nicht von den Ergebnissen aller Probanden; bei Verwendung der linken Hand dagegen zeigten sich - teils signifikant - größere Zackenamplituden im Audiogramm.

In Bezug auf die Superiorität eines Ohrs ergab sich keine einheitliche Tendenz. Ebenso erwies sich keine der vier möglichen Hand-Ohr-Kombinationen den übrigen drei deutlich überlegen.

VI LITERATURVERZEICHNIS

BAKKER, D.J.: Left-Right Differences in Auditory Perception of Verbal and Non-Verbal Material by Children. Q. J. Psychol. 19 334-336 (1967)

BAKKER, D.J.: Ear-Asymmetry with Monaural Stimulation. Psychon. Sci. 12 62 (1968)

BAKKER, D.J.: Ear-Asymmetry with Monaural Stimulation: Task Influences. Cortex 5 36-42 (1969)

BAKKER, D.J.: Ear-Asymmetry with Monaural Stimulation: Relations to Lateral Dominance and Lateral Awareness. Neuropsychol. 8 103-117 (1970)

BAKKER, D.J. and BOEIJENGA, J.A.: Note: Ear-Order Effects on Ear-Asymmetry with Monaural Stimulation. Neuropsychol. 8 385-386 (1970)

BEKESY, G.v.: A New Audiometer. Acta Oto-Laryng. 35 411-422 (1947)

BRANCH, C.; MILNER, B. and RASMUSSEN, T.: Intracarotid Sodium Amytal for Lateralization of Cerebral Speech Dominance. J. Neurosurg. 21 399-405 (1964)

BROADBENT, D.E.: The Role of the Auditory Localization in Attention and Memory Span. J. exp. Psychol. 47 191-196 (1954)

BROADBENT, D.E.: Successive Response to Simultaneous Stimuli. Q.J.Exp. Psychol. 8 145 (1956)

BRYDEN, M.P.: Ear Preference in Auditory Perception. J. Exp. Psychol. 65 103-105 (1963)

CALLAN, J.; KLISZ, D. and PARSONS, O.A.: Strength of Auditory Stimulus Response Compatibility as a Function of Task Complexity. J. Exp. Psychol. 102 1039-1045 (1974)

CATLIN, J.; VANDERVEER, N.J. and TEICHER, R.D.: Monaural Right-Ear Advantage in a Target-Identification Task. Brain and Lang. 3 470-481 (1976)

CURRY. F.K.W.: A Comparison of Left-Handed and Right-Handed Subjects on Verbal and Non-Verbal Dichotic Listening Tasks. Cortex 3 343-352 (1967)

DAVIS, A.E. and WADA, J.A.: Speech Dominance and Handedness in the Normal Human. Brain and Lang. 5 42-55 (1978).

DIVENYI, P.L.; EFRON, R. and YUND, E.W.: Ear Dominance in Dichotic Chords and Ear Superiorita in Frequency Discrimination. J.Acoust. Soc.Am. 62 624-632 (1977)

DOEHRING, D.G.: Ear Asymmetry in the Discrimination of Monaural Tonal Sequences.
Can.J. Psachol. 26 106-110 (1972)

ECCLES, J.C.: Das Gehirn des Menschen. R.Piper + Co. Verl. München (1975)

EFRON, R.: The Effect of Handedness on the Perception of Simultaneity and Temporal Order.
Brain 86 261-284 (1963)

GORDON, Z.W.: Hemispheric Asymmetries in the Perception of Musical Chords. Cortex 6 387-398 (1970)

HAHLBROCK, K.H.: Békésy-Audiometrie. in: Berendes, J.; Links, R.; Zöllner, F. (Hrsg.):Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Band III, Teil 1. Georg-Thieme-Verl. Stgt. (1965)

HALPERIN, S.P.; NACHSHON, J. and CARMON, A.: Shift of Ear Superiority in Dichotic Listenin to Temporally Patterned Nonverbal Stimuli. J. Acoust.Soc.Am. 53 46-50 (1973)

HARBERT, F. and YOUNG, I.M.: Clinical Application of Békésy-Audiometry. Laryngoscope 78 487-497 (1968)

HAYDON, S.P. and SPELLACY, F.J.: Monaural Reaction Time Asymmetries for Speech and Non-Speech Sounds.
Cortex 9 288-294 (1973)

HEILMAN, K.M.; BOWERS,D.; RASBURY, W.C. and RAY, R.M.: Ear Asymmetries on a Selective Attentional Task.
Brain and Lang. 4 390-395 (1977)

JERGER, J.: Békésy-Audiometry in Analysis of Auditory Disorders, J.Speech.Hear.Res. 3 275-287 (1960)

JERGER, J. and HERER, G.: An Unexpected Dividend in Békésy-Audiometry. J.Speeck. Hear.Disord. 26 390-391 (1961)

JOHNSON, E.W.: Auditory Test Results in 500 Cases of Acoustic Neuroma. Arch. Otolaryngol. 103 125-128 (1977)

KALLMAN, H.J.: Note: Ear Asymmetries with Monaurally Presented Sounds. Neuropsychol. 15 833-835 (1977)

KALLMAN, H.J. and CORBALLIS, M.C.: Ear Asymmetry in Reaction Time to Musical Sounds.
Percept. and Psychophys. 17 368-370 (1975)

KIESSLING, J.: Messung der Reaktionszeit und Békésy-Audiometrie. Arch. Oto-Rhino-Laryng. 218 27-35 (1977)

KIMURA, D.: Cerebral Dominance and the Perception of Verbal Stimuli. Canad.J.Psychol. 15 166-171 (1961)

KIMURA, D.: Left-Right-Differences in the Perception of Melodies. Quart.J.Exp.Psychol. 16 355-358 (1964)

KIMURA, D.: Functional Asymmetry of the Brain in Dichotic Listening. Cortex 3 163-178 (1967)

KING, F.L. and KIMURA, D.: Left-Ear Superiority in Dichotic Perception of Vocal Nonverbal Sounds.
Canad.J.Psychol. 26 111-116 (1972)

KLISZ, D.K. and PARSONS, O.A.: Ear Asymmetry in Reaction Time Tasks as a Function of Handedness.
Neuropsychol. 13 323-330 (1975)

KNOX, A.W. and BOONE, D.R.: Auditory Laterality and Tested Handedness. Cortex 6 164-173 (1970)

MARTINIUS, J.: Hemisphärendominanz und Lateralität.
Klin. Wschr. 52 353-357 (1974)

MUMENTHALER, M.: Neurologie - Ein kurzgefaßtes Lehrbuch.
5. Aufl. Georg Thieme Verl. Stgt. (1976)

NATALE, M.: Perception of Nonlinguistic Auditory Rhythms by the Speech Hemisphere. Brain and Lang. 4 32-44 (1977)

PALMER, R.D.: Cerebral Dominance and Auditory Asymmetry. J. Psychol. 58 157-167 (1964)

RINTELMANN, W.F. and CARHART, R.: Loudness Tracking by Normal Hearers via Békésy-Audiometer. J. Speech Hear. Res. 7 79 - 93 (1964)

RINTELMANN, W.F. and HARFORD, E.: Type V Békésy-Pattern: Interpretation and Clinical Utility. J. Speech Hear. Res. 10 733-744 (1967)

SATZ, P.; ACHENBACH, K. and FENNELL, E.: Correlation between Assessed Manual Laterality and Predicted Speech Laterality in Normal Population. Neuropsychol. 5 295-310 (1967)

SCHMIDT, R.F. und THEWS, G.: Einführung in die Physiologie des Menschen. 18. Aufl. Springer Verl. Heidelberg (1976)

SCHWARZ, E.: Die Abhängigkeit der akustischen Wahrnehmung von der Hemisphärendominanz. Arch. Psychol. 123 129-141 (1971)

SHANKWEILER, D.: Effects of Temporal Lobe Damage on Perception of Dichotic Presented Melodies. J. Comp. Physiol. Psychol. 62 115-119 (1966)

SHEPHERD, D.C. and GOLDSTEIN, R.: Intrasubject Variability in Amplitude of Békésy-Tracings and its Relation to Measures of Personality. J. Speech Hear. Res. 11 523-535 (1968)

SIMON, J.R.: Ear Preference in a Simple Reaction-Time Task. J. Exp. Psychol. 75 49-55 (1967)

SPELLACY, F.: Lateral Preferences in the Identification of Patterned Stimuli. J. Acoust. Soc. Am. 47 574-578 (1970)

SPELLACY, F. and BLUMSTEIN, s.: The Influence of Language Set on Ear Preference in Phoneme Recognition. Cortex 6 436-439 (1970)

STEFFEN, H.: Cerebral Dominance: The Development of Handedness and Speech. Acta Paedopsych. (Basel) 41 223-235 (1975)

STEINGRÜBER, H.J. und LIENERT, G.A.: Hand-Dominanz-Test. 2. Aufl. Verl. f. Psychologie, Dr. C.J. Hogrefe, Göttingen (1976)

ULLMANN, J.F.: Psychologie der Lateralität. Verl. H. Huber, Bern, Stgt., Wien (1974)

VENTRY, I.M.: Békésy Audiometry in Functional Hearing Loss: A Case Study. J. Speech Hear. Disord. 36 125-141 (1971)

WADA, J.: A New Method for the Determination of the Side of Cerebral Speech Dominance: A Preliminary Report on the Intracarotid Injection of Sodium Amytal in Man. Med. + Biol. 14 221 (1949)

WADA, J. and RASMUSSEN, T.: Intracarotid Injection of Sodium Amytal for the Lateralization of Cerebral Speech Dominance. Experimental and Clinical Observations. J. Neurosurg. 17 266- (1960)

BROADBENT, D.E. and GREGORY, M.: Accuracy of Recognition for Speech Presented to the Right and Left Ear. Q.J.Exp. Psychol. 16 359 - 360 (1964)

L E B E N S L A U F

Am 29. Januar 1955 wurde ich, Isolde Eva Frankenreiter, geborene Enzel, als viertes Kind des Dr. Friedrich Gustav Enzel, Stadttierarzt in Lauffen a. N., und seiner Ehefrau Irmgard, geborene Meyer, in Lauffen a. N. geboren.

Von Ostern 1962 an besuchte ich die Volksschule in Lauffen a. N.; im April 1966 wechselte ich in das dortige Hölderlin-Gymnasium über, wo ich am 21. Juni 1974 die Reifeprüfung bestand.

Zum Wintersemester 1974/75 erhielt ich einen Studienplatz für das Fach Medizin an der Universität Hohenheim (LH). Zum Wintersemester 1975/76 wechselte ich an die Universität Tübingen. Dort legte ich am 26. und 27. August 1976 die Ärztliche Vorprüfung, am 25. und 26. August 1977 den Ersten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung sowie vom 16. bis 21. August 1979 den Zweiten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung ab.

Das Praktische Jahr absolvierte ich von Oktober 1979 bis Oktober 1980 am Städtischen Krankenhaus in Friedrichshafen/Bodensee mit Wahlfach Pädiatrie.

Den Dritten Abschnitt der Ärztlichen Prüfung legte ich am 15. Oktober 1980 ab.